

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application: 2002年11月21日

出 願 番 号

Application Number: 特願2002-337860

[ST.10/C.]:

[JP2002-337860]

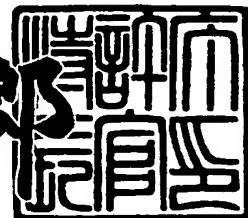
出 願 人

Applicant(s): 三菱電機株式会社

2002年12月17日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2002-3099955

【書類名】 特許願

【整理番号】 541027JP01

【提出日】 平成14年11月21日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/12
G02F 1/313

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 ▲高▼木 和久

【特許出願人】

【識別番号】 000006013

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

【氏名又は名称】 三菱電機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100062144

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 蓀

【選任した代理人】

【識別番号】 100086405

【弁理士】

【氏名又は名称】 河宮 治

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013262

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体光導波路装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体基板内部に複数本の概略 S 字状の曲がり導波路が埋設された半導体光導波路装置であって、前記曲がり導波路の光入射・出射間に少なくとも 2 個の光導波路折り返し部が介在して接続され、前記各光導波路折り返し部の合波部後方端面側の前記半導体基板内部に反射部が形成されたことを特徴とする半導体光導波路装置。

【請求項 2】 前記各光導波路折り返し部が Y 分岐型合分波器である請求項 1 記載の半導体光導波路装置。

【請求項 3】 前記各光導波路折り返し部が MMI カプラである請求項 1 記載の半導体光導波路装置。

【請求項 4】 前記各光導波路折り返し部が方向性結合器である請求項 1 記載の半導体光導波路装置。

【請求項 5】 前記光導波路折り返し部および前記反射部は、前記半導体基板内部の所定深さレベルに形成されたことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の半導体光導波路装置。

【請求項 6】 前記各曲がり導波路はコア層とクラッド層を有し、該導波路コア層が InGaAsP 材で構成され、該クラッド層が InP 材で構成され、入射光として波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で使用し、前記曲がり導波路の曲率半径が $2400\mu\text{m}$ 以上である請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の半導体光導波路装置。

【請求項 7】 前記反射部端面に反射率が 30% 以上の蒸着金属膜が形成された請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の半導体光導波路装置。

【請求項 8】 前記反射用金属膜がアルミニウムである請求項 7 に記載の半導体光導波路装置。

【請求項 9】 半導体基板上に複数本の概略 S 字状の曲がり導波路がリッジ型に形成された半導体光導波路装置であって、前記曲がり導波路の光入射・出射間に少なくとも 2 個の光導波路折り返し部が介在して接続され、前記各光導波路折り返し部の合波部後方端面側に反射部が形成され、前記半導体基板の上面に導

波路コア層が形成され、該コア層の上部にクラッド層が形成されていることを特徴とする半導体光導波路装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体光集積回路で使用する半導体光導波路に関し、特に、同一半導体基板に集積した曲がり導波路に2個以上の折り返し反射部を設けた半導体光導波路装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、個別の部品を組立てて作製していた回路素子を同一の半導体チップ上に形成してモノリシック集積回路構成とすることによって、回路装置の小型化、低コスト化、高信頼化、生産性向上が図られている。一方、情報通信機器の高性能化に伴う膨大なデータ通信量に対応するために、光ファイバを用いた光通信網の普及が不可欠となっている。半導体材料を用いた各種光素子は同一材料系で構成されることから、光通信網における光伝送路として、高速、小型で集積化が可能な半導体光導波路が広く用いられている。以後の説明では、半導体光導波路を有し、各種半導体光素子を組合せて同一の半導体チップ基板に集積した構成体を「半導体光導波路装置」または単に「半導体光装置」と呼ぶこととする。

【0003】

半導体光装置において、光の進行方向を変更したい場合には、一般にS字型の曲がり部を有する光導波路が用いられる（例えば、非特許文献1参照）。

【0004】

図5（a）は従来のS字型の曲がり導波路を備えた半導体光装置の概略斜視図であり、図5（b）は図5（a）の切断線A-A'における断面図である。図5（a）および（b）において、参照番号1は光導波路、11は半導体チップのn型InP基板、12は光導波路のInGaAsPコア層、13はp型InPクラッド層、14は半絶縁性InP埋込層である。入射側端部Pから入射した光はS字型曲がり導波路によって進行方向がXだけ横方向にずれた後、出射側端部Qか

ら出射される。このような曲がり導波路においては、曲がりによる光の損失を低減することが重要である。曲がり損失は、導波路の曲がり部の曲率半径が所定値より小さくなると急激に増大する。

【0005】

図6は、本発明者によって、導波路の曲がりによる光の損失と曲がり部の曲率半径Rとの関係をビーム伝搬法により計算した結果を示したグラフである。グラフから明らかなように、曲がり損失を低減するためには、曲率半径を2400 μ m以上とする必要があることを示している。

【0006】

一方、従来的高速、小型で高効率な導波型光装置の応用例として、方向性結合器を多段に接続し、各方向性結合器の一端側の壁開面に反射膜を形成し、LiNbO₃基板上にTiをストライプ状に拡散することにより形成した複数本の光導波路を備えた導波型光スイッチが開示されている（例えば、特許文献1参照）。

【0007】

【非特許文献1】

ピー・ブイ・スツデンコフ (P.V. Studenkov) 他6名著「モノリシック・インテグレーション・オブアン・オールオブチカルマッハツェンダ・デマルチプレクサ・ユージングアン・アシメトリック・ツウインウェイブガイドストラクチャ (Monolithic Integration of an All-Optical Mach-Zehnder Demultiplexer Using an Asymmetric Twin-Waveguide Structure)」アイイーイーイーフォトニクステクノロジーレターズ (IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS) 第13巻、第6版、2001年6月、p. 600、図1)

【特許文献1】

特開平3-256028号公報 (第1図、第2図)

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、図5(a), (b)に示す従来の構成では、曲率半径を最小限の2400 μ mとした場合、光の進行方向を横方向に例えば200 μ mずらすためには、導波路の入射端から出射端までの長さLは、幾何学的な計算により下記

の式 1 で与えられる。

$$L = 2 * (R - X / 2(N + 1)) * \tan(\arccos((R - X / 2(N + 1)) / R)) \dots \dots \text{式 1}$$

上記式 1 に $X = 200 \mu\text{m}$, N は Y 分岐部の個数で $N = 1$, $R = 2400 \mu\text{m}$ を代入することにより、長さ L は $1371 \mu\text{m}$ と大きなサイズとなり、半導体光装置の大型化と高コストの原因となっていた。したがって、装置の小型化や低コスト化のためには、曲がり損失を低減しながら、導波路の入射端から出射端までの長さ L を短くした半導体光導波路の実現が緊要であった。

【0009】

一方、上記特許文献 1 に開示の構成では、光屈折率が 2 以下（略 1.5 程度）の LiNbO_3 基板上に、 Ti をストライプ状に拡散することにより形成した光導波路において、方向性結合器を多段に接続し、各方向性結合器の一端側の壁開面に反射膜を形成し装置の長さ L を短くした構成である。しかし、基板および光導波路を半導体材料で構成したものではないため、高速、小型で集積化することに難点があり、基板が低屈折率であるためサイズが大きくなっていた。また、基板上面部に導波路が形成されているため、外部部材との干渉による損傷、装置の小形化に問題があった。さらに、各方向性結合器の一端側の反射膜を装置の壁開面に形成しているため、反射膜が外部に露出し、劣化し易いといった課題があった。

【0010】

本発明は上記課題を解決するためになされたもので、光導波路の入射端から出射端までの長さが短く、曲がり損失の小さい、高速、小型で集積化が可能な半導体光導波路装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明に係る半導体光導波路装置は、半導体基板内部に複数本の概略 S 字状の曲がり導波路が埋設され、少なくとも 2 個の光導波路折り返し部が前記曲がり導波路の光入射・出射間に介在して接続され、各光導波路折り返し部の合波部後方端面側の前記半導体基板内部に反射部が形成されたことを特徴とする。上記構成において各光導波路折り返し部は、Y 分岐型合分波

器、MMI カプラまたは方向性結合器で構成される。

【 0 0 1 2 】

【発明の実施の形態】

以下、図 1 乃至図 4 を用いて本発明の実施の形態について詳述する。なお、各図において共通する要素には同一の符号を付し、重複する説明については省略している。また、光導波路の図示において、本来、基板内に埋設されている部分は破線で図示されるべきであるが、構成を分かり易くするために実線で示している。

【 0 0 1 3 】

（実施の形態 1）

本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体光導波路装置について図 1（a），（b），（c）を参照して以下に説明する。本実施の形態 1 では各光導波路折り返し部が Y 分岐型合分波器で構成された場合を例示するものである。図 1（a）は、本発明の実施の形態 1 に係る半導体光導波路を有する半導体光装置 10 の概略構成を示す斜視図、図 1（b）は図 1（a）の切断線 B-B' における断面図、図 1（c）は図 1（a）の切断線 C-C' における要部拡大断面図である。

【 0 0 1 4 】

同図において、参照番号 1 は光導波路、11 は半導体チップの n 型 InP 基板、12 は光導波路の InGaAsP コア層、13 は p 型 InP クラッド層、14 は半絶縁性 InP 埋込層である。本実施の形態では、図 1（b）に示すように、光導波路 1 のコア層 12 はクラッド層 13 の下部に埋設され、半導体基板 11 の半絶縁性 InP 埋込層 14 内部の所定深さレベルに形成されている。

【 0 0 1 5 】

参照番号 15a、15b はそれぞれ第 1 および第 2 の Y 分岐型光合分波器（以後、「Y 分岐部」と略称する）、16a および 16b はそれぞれ第 1 および第 2 の反射部である。図 1（c）に示すように、Y 分岐部 15a（15b も同様）の合波端部 15c は光学鏡面に研磨されており、各反射部は Y 分岐部の合波端部に隣接する位置に形成されている。これら反射部 16a（および 16b）は半導体基板 11 の所定箇所をドライエッチングすることにより、矩形状の掘り込み凹部と

して形成される。

【0016】

反射部16a(16b)の側面のうち、Y分岐部15a(15b)の端部15cに対向隣接する各一側面には第1(および第2)の反射膜17a(17b)がそれぞれ形成されている。これらの反射膜17a, 17bは、例えばアルミニウム等の金属膜を蒸着することにより形成され、光の反射率を高める構成としている。本実施の形態では、反射部端面に形成された蒸着金属膜17a(17b)の反射率が30%以上となるように構成している。なお、反射膜の他の金属材料としては、チタン、クロム、金、プラチナ、ニッケル等も使用可能である。

【0017】

なお、反射膜17a, 17bは金属膜の蒸着以外に絶縁体膜によっても形成することができる。また、反射部16a, 16bの矩形状掘り込み凹部には絶縁体を充填することにより反射面を形成してもよい。

【0018】

上記構成により、光入射端部Pから入射した光は、2個のY分岐部15a、15bが介在する3本のS字型曲がり導波路によって進行方向がXだけ横方向にずれた出射端部Qから出射される。また、図示の例では曲がり導波路にY分岐部を2個だけ設けた場合について説明しているが、3個以上のY分岐部を設けた多段反射型の構成としてもよい。

【0019】

図1(a)の構成において、例えば、光の進行方向を横方向にずらす距離Xを $200\mu\text{m}$ とし、Y分岐部の個数を $N=2$ とし、曲がり導波路の曲率半径を $R=2400\mu\text{m}$ とした場合、導波路の入射端から出射端までの長さLは、前述の式1に $X=200\mu\text{m}$, $N=2$, $R=2400\mu\text{m}$ を代入することにより求められ、Lは $797\mu\text{m}$ となり、従来の長さ $L=1371\mu\text{m}$ に比べて58%に小さくできる。このように曲がり導波路にY分岐部を2個以上設けて光を反射して折り返す構成とすることにより、小型サイズの半導体光装置で光の進路方向をずらすことが可能となる。

【0020】

本実施の形態によれば、装置の小型化が可能となり、コストの低減を図ることができる。また、基板および光導波路を半導体材料で構成しているため、高速、小型で集積化が可能であり、さらに、半導体基板の内部に導波路が埋め込み形成されているため、外部部材との干渉がなく高い安定性が得られ、装置の高さ方向のサイズの小型化も可能となる。また、各反射膜を半導体基板の内部に形成し、反射膜が外部に露出することがないため、その劣化が効果的に防止される。

なお、光導波路のコア層の厚さ及び幅は、使用波長において高次モードのカットオフ条件を満たすように設定され、本実施の形態 1 では、入射光として波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で使用し、コア層 12 の組成 InGaAsP は光の使用波長に対して光吸収の小さい組成よりなる構成としている。

【0021】

(実施の形態 2)

本発明の第 2 の実施の形態に係る半導体光導波路装置について図 2 を参照して以下に説明する。実施の形態 1 では導波路を折り返す方法として Y 分岐型の合分波器を用いたが、本実施の形態 2 では導波路を折り返す方法として MMI (Multi-Mode Interference) カプラを用いた場合を例示するものである。

【0022】

図 2 は、本発明の実施の形態 2 に係る半導体光導波路を有する半導体光装置 20 の概略構成を示す斜視図である。図 2 において、参照番号 21a および 21b は第 1 および第 2 の MMI カプラであり、各 MMI カプラの導波路と反対側の端部側に隣接してそれぞれ反射部 16a, 16b が形成され、各反射部 16a, 16b の MMI カプラ 21a, 21b とそれぞれ対向隣接する一端面には、例えばアルミニウム等の金属膜を蒸着することにより反射膜 17a, 17b がそれぞれ形成され、光の反射率を高める構成としている。

【0023】

MMI カプラの構成例としては、例えば、幅 W が $6\mu\text{m}$ 、長さ L_1 が $40\mu\text{m}$ の矩形導波路を用いることができる。図 2 の構成においても、MMI カプラの個数を N とすれば、前述の L に関する式 1 を用いて下記の式 2 の関係が成り立つ。

$$L = L_1 + 2 \cdot (R - X/2(N+1)) \cdot \tan(\arccos((R - X/2(N+1))/R)) \dots \dots$$

式 2

【 0 0 2 4 】

よって、本実施の形態 2 においても、前述の式 2 に $L_1 = 40 \mu\text{m}$, $X = 200 \mu\text{m}$, $N = 2$, $R = 2400 \mu\text{m}$ を代入することにより、導波路の入射端から出射端までの長さ L は $837 \mu\text{m}$ となり、従来の長さに比べて格段に小さくできる。このようにして装置の小型化が可能となり、コストの低減を図ることができ、実施の形態 1 と同様の効果が得られる。なお、本実施の形態 2 では、入射光として波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯で使用し、コア層 12 の組成 InGaAsP は光の使用波長に対して光吸収の小さい組成よりなる構成としている。

【 0 0 2 5 】

(実施の形態 3)

本発明の第 3 の実施の形態に係る半導体光導波路について図 3 (a), (b) を参照して以下に説明する。実施の形態 1 では導波路を折り返す方法として Y 分岐型の合分波器を用いたが、本実施の形態 3 では導波路を折り返す方法として方向性光結合器を用いた場合を例示するものである。実施の形態 1, 2 では分岐による光の損失が発生するが、本実施の形態 3 では分岐端がないので、分岐による光の損失は発生しない。

【 0 0 2 6 】

図 3 (a) は、本発明の実施の形態 3 に係る半導体光導波路を有する半導体光装置 30 の概略構成を示す斜視図、図 3 (b) はその要部拡大上面図である。図 3 (a), (b) において、参照番号 31a および 31b はそれぞれ第 1 および第 2 の方向性光結合器であり、各方向性光結合器は 2 本の光導波路を並列近接させることにより構成され、各方向性光結合器の端部側 31c に隣接して実施の形態 1, 2 と同様にそれぞれ反射部 16a, 16b が形成され、各反射部の方向性光結合器の端部側 31c に隣接した一端面には、反射膜 17a, 17b がそれぞれ形成されている。

【 0 0 2 7 】

方向性光結合器の構成例としては、例えば、導波路幅 t が $1.5 \mu\text{m}$ 、導波路間隔 d が $1 \mu\text{m}$ 、導波路長さ L_2 が $250 \mu\text{m}$ の導波路を用いることができる。

図 3 (a) のように構成した装置の長さ L は方向性光結合器の個数を N とすれば、前述の L に関する式 1 を用いて、下記の式 3 の関係が成り立つ。

$$L = L_2 + 2 * (R - X / 2(N + 1)) * \tan(\arccos((R - X / 2(N + 1)) / R)) \dots \dots \text{式 3}$$

【 0 0 2 8 】

よって、前述の式 3 に $L_2 = 250 \mu\text{m}$, $X = 200 \mu\text{m}$, $N = 2$, $R = 2400 \mu\text{m}$ を代入することにより、装置の長さは $1047 \mu\text{m}$ となり、従来の長さに比べて 76% に小さくできる。したがって、本実施の形態によれば、装置の小型化が可能となり、コストの低減を図ることができ、実施の形態 1 と同様の効果が得られる。例えば光屈折率が略 3.2 程度の InP 半導体基板を用いた場合、従来の光屈折率が略 1.5 程度の LiNbO_3 基板を用いた場合に比べて、Y 分岐型の合分波器、MMI カプラ、方向性光結合器のいずれの場合においても、基板サイズを約 1/2 に小型化できる。なお、本実施の形態では、入射光として波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯で使用し、コア層 12 の組成 InGaAsP は光の使用波長に対して光吸収の小さい組成よりなる構成としている。

【 0 0 2 9 】

(実施の形態 4)

本発明の第 4 の実施の形態に係る半導体光導波路について図 4 (a), (b), (c) を参照して以下に説明する。図 4 (a), (b), (c) は本実施の形態 4 に係る半導体光導波路の変形例 1 ~ 3 を示す断面図である。即ち、前述の実施の形態 1 ~ 3 では光導波路のコア層をクラッド層の下部に埋め込んだ構造としたが、本実施の形態 4 では図 4 (a), (b), (c) の断面図に示すようにリッジ型(細長い隆起部形状)の光導波路として基板上部に構成したものである。

【 0 0 3 0 】

図 4 (a) に示す変形例 1 では、 n 型 InP 基板 11 の上面に InGaAsP コア層 12 が形成され、コア層 12 の上部に p 型 InP クラッド層 13 が形成され、クラッド層 13 の中央位置にクラッド凸状部 13a を形成したものである。

【 0 0 3 1 】

図 4 (b) に示す変形例 2 では、 n 型 InP 基板 11 の上面中央位置に凸状部 11a を形成し、その上面にコア層 12 が形成され、さらにその上部にクラッド

層 1 3 が形成されたものである。

【 0 0 3 2 】

図 4 (c) に示す変形例 3 では、 n 型 I n P 基板 1 1 上に I n G a A s P コア層 1 2 が形成され、コア層 1 2 の上部に p 型 I n P クラッド層 1 3 が形成され、クラッド層 1 3 の中央位置にクラッド凸状部 1 3 a を形成したことは変形例 1 と同様である。上記構成において、更に、クラッド凸状部 1 3 a の上部に p 型 I n G a A s P コンタクト層 2 4、さらにその上面部に S i O₂ 絶縁膜 2 5 を形成している。このように、光導波路 1 の下部領域を含む半導体チップ基板 1 1 上コア層 1 2 が、クラッド層 1 3 の所定の深さレベルに形成され、コンタクト層 2 4 の上部は S i O₂ 絶縁膜 2 5 で上面全体が被膜されている。なお、上記変形例 1 ～ 3 では、入射光として波長 1 . 5 5 μ m 帯で使用し、コア層 1 2 の組成 I n G a A s P は光の使用波長に対して光吸収の小さい組成よりなる構成としている。

【 0 0 3 3 】

上記断面構成のように、同一基板上にモノリシック (monolithic) に光導波路を集積したことにより、半導体光装置を小型化でき、製造コストを低減できる効果があることは前述の実施の形態 1 ～ 3 と同様である。

【 0 0 3 4 】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、チップ基板および光導波路を半導体材料で構成し、光導波路折り返し部が曲がり導波路間に介在して一体的に接続されているため、高速、小型で高集積化が可能可能となり、コストの低減を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 (a) は本発明の実施の形態 1 に係る半導体光導波路を有する半導体光装置の概略斜視図、 (b) は (a) の切断線 B - B' における断面図、 (c) は (a) の切断線 C - C' における要部拡大断面図。

【図 2】 本発明の実施の形態 2 に係る半導体光導波路を有する半導体光装置の概略構成を示す斜視図。

【図 3】 (a) は本発明の実施の形態 3 に係る半導体光導波路を有する半

導体光装置の概略構成を示す斜視図、（b）はその要部拡大上面図。

【図 4】 （a）、（b）、（c）は実施の形態 4 に係る半導体光導波路の変形例 1 ～ 3 を示す断面図。

【図 5】 （a）は従来の曲がり導波路を備えた半導体光装置の概略斜視図、（b）は（a）の切断線 A - A' における断面図。

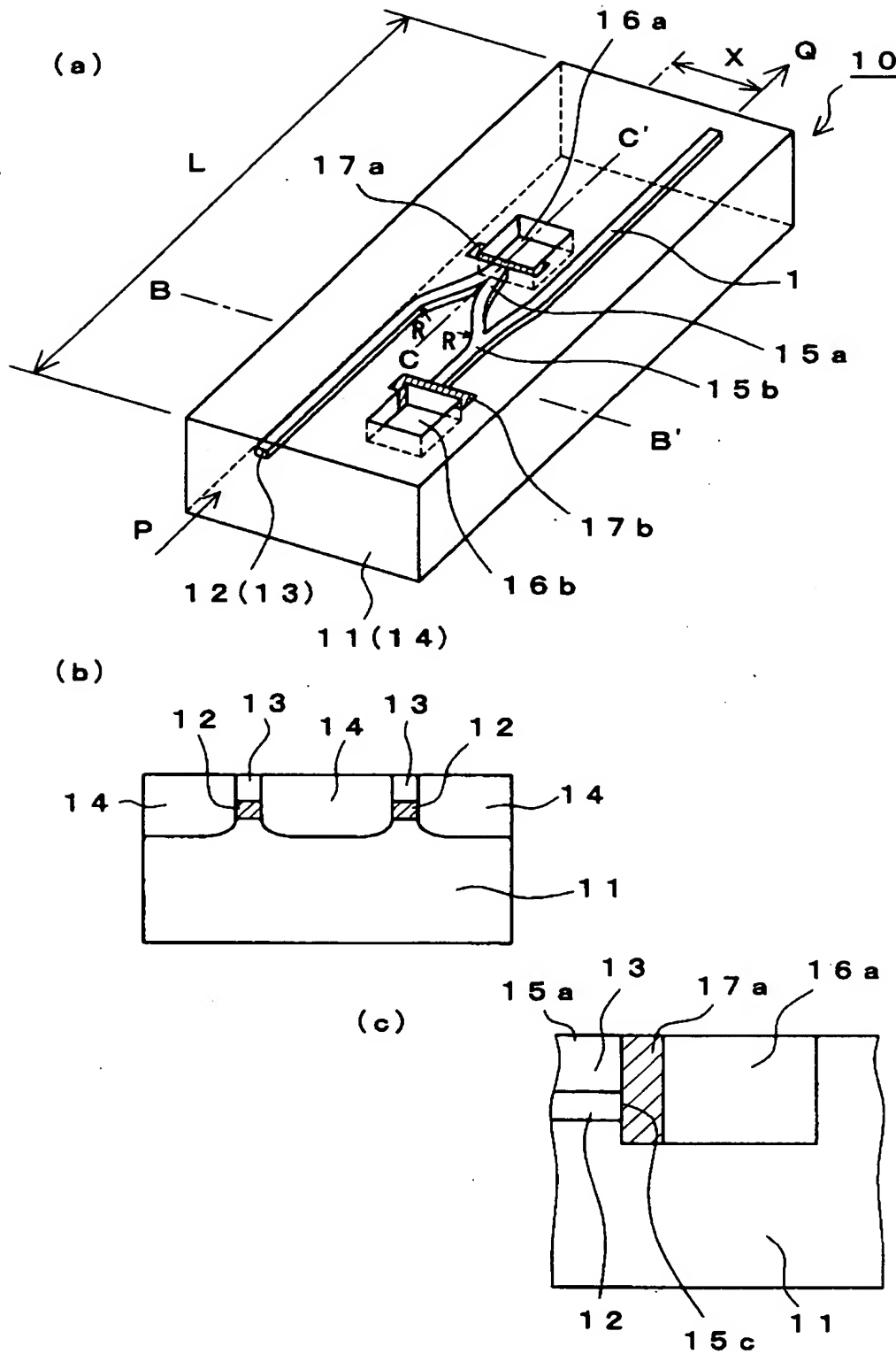
【図 6】 導波路の曲がりによる光の損失と曲がり部の曲率半径との関係を示すグラフ図。

【符号の説明】

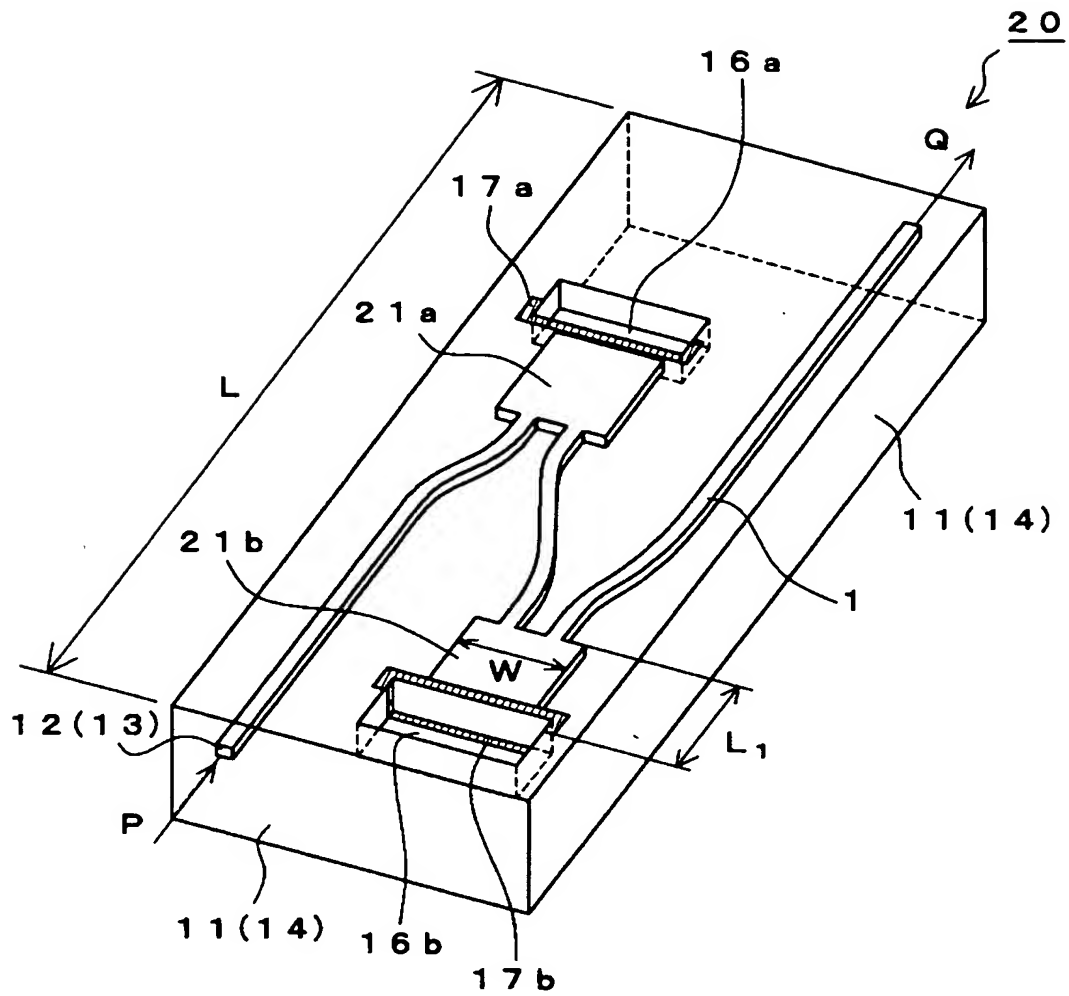
1 光導波路、 1 0, 2 0, 3 0 半導体光導波路装置、 1 1 半導体基板、 1 2 コア層、 1 3 クラッド層、 1 4 半絶縁性埋込層、 1 5 a, 1 5 b Y分岐型光合分波器、 1 5 c 合波端部、 1 6 a, 1 6 b 反射部、 1 7 a, 1 7 b 反射膜、 2 1 a, 2 1 b MMI カプラ、 3 1 a, 3 1 b 方向性光結合器、 3 1 c 方向性光結合器端部 3 1 c

【書類名】 図面

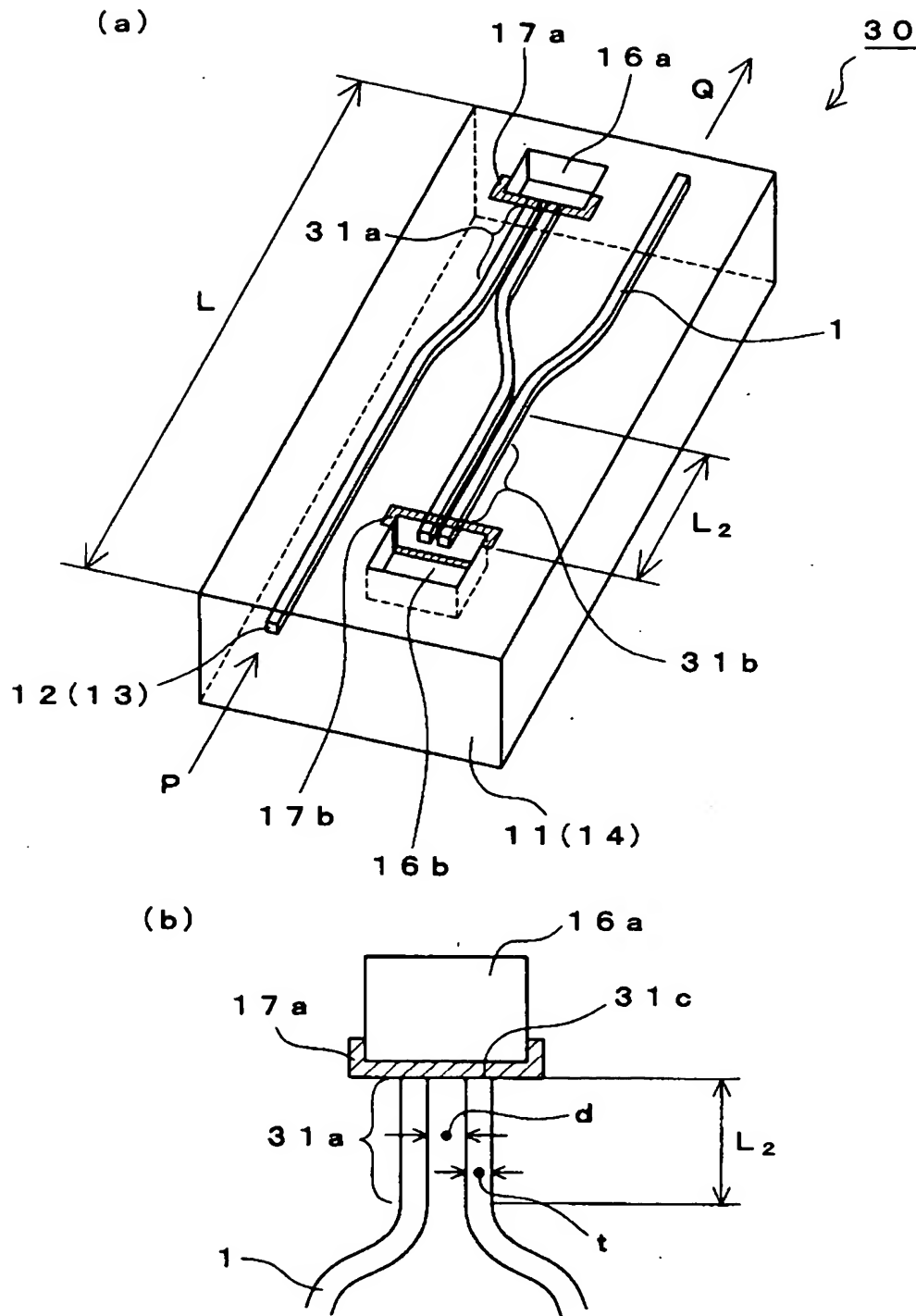
【図 1】



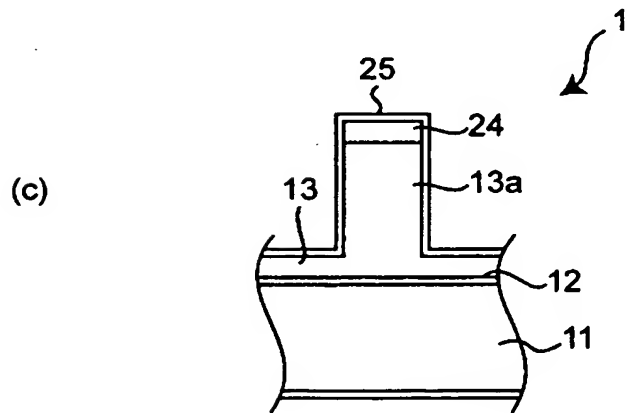
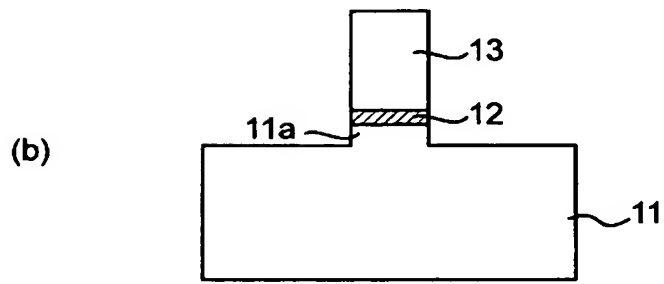
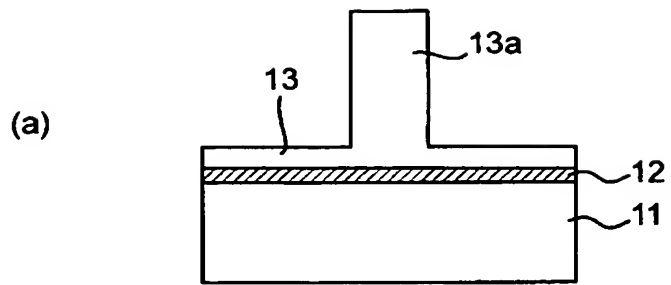
【図 2】



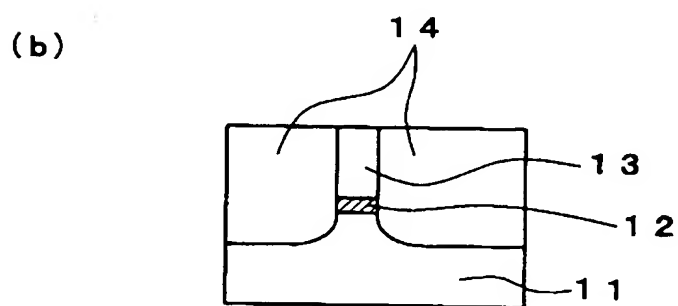
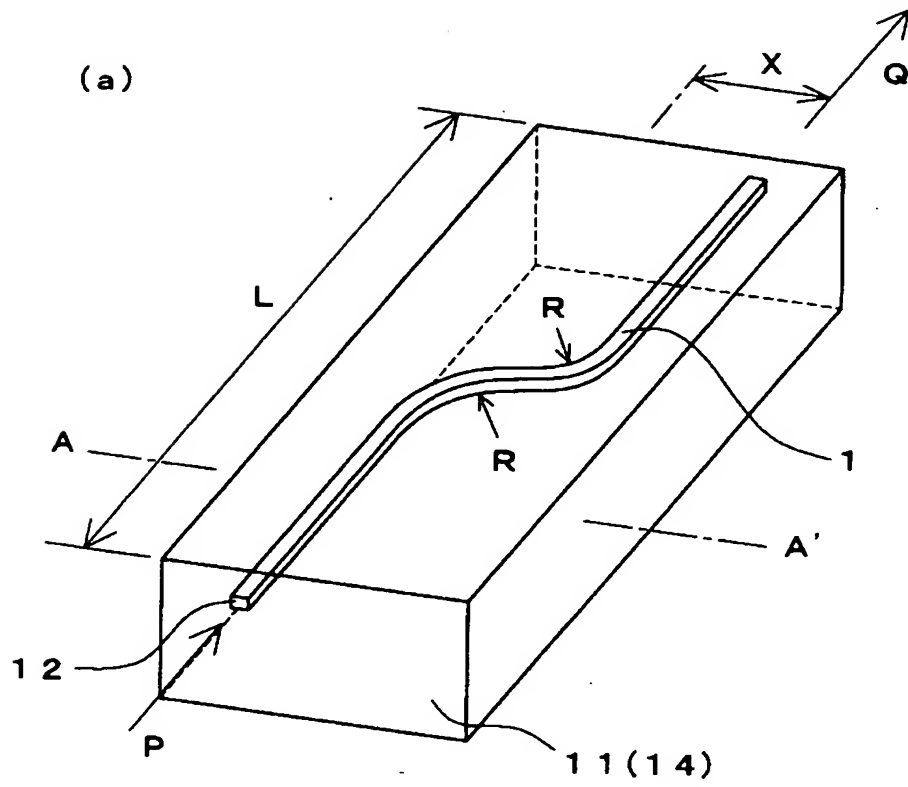
【図 3】



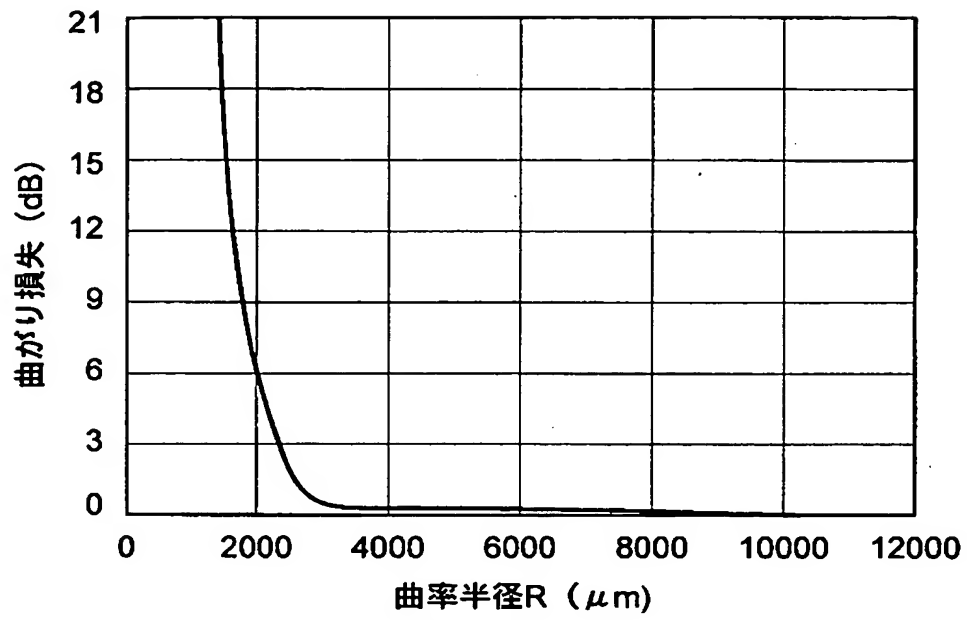
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光導波路の入射端から出射端までの長さが短く、曲がり損失の小さい、高速、小型で集積化が可能な半導体光導波路装置を提供する。

【解決手段】 半導体基板(11)内部に複数本の概略S字状の光導波路(1)を埋設し、光導波路の光入射・出射間に少なくとも2個の光導波路折り返し部を介在させて一体的に接続し、各光導波路折り返し部の合波部後方端面側に反射部(16a, 16b; 17a, 17b)を形成した。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 6 0 1 3]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 4 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号
氏 名	三菱電機株式会社